

不同农业废弃物生物炭及施用量对土壤 pH 值和 保水保氮能力的影响

吴愉萍¹, 王明湖², 席杰君², 潘洁², 陈玲瑜², 连瑛¹, 孙辉¹, 周萍³

(1. 宁波市农产品质量安全总站, 浙江 宁波 315012;

2. 宁波市种植业管理总站, 浙江 宁波 315012;

3. 浙江炭极科技有限公司, 浙江 杭州 310100)

摘要:以黄秋葵秸秆炭(HQK)、茭白秸秆炭(JB)、水稻秸秆炭(SD)、废弃食用菌基质炭(JZ)、无花果秸秆炭(WHG)、猪粪炭(SM)和稻壳炭(DK)为供试原料,设置0.5%、1%、2%和5%4个添加浓度,研究不同生物炭及添加量对土壤pH值和保水保氮性能的影响。结果发现,所有生物炭添加量在2%时,均能显著提高土壤pH值,但不同生物炭调酸能力不同,JB和SD作用最强;生物炭能提高土壤持水能力,添加量在2%时,所有处理均极显著($P<0.01$)的提高了土壤持水量,增幅分布在2.87%~12.30%之间,SD效果最明显;生物炭能够吸附土壤溶液中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,但吸附能力与生物炭的添加量无相关性,WHG吸附能力最强,JZ和HQK吸附能力最弱;添加生物炭对土壤溶液中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 则基本无吸附作用。

关键词:生物炭;土壤;pH值;持水量; $\text{NH}_4^+\text{-N}$; $\text{NO}_3^-\text{-N}$

我国是一个农业文明古国,在传统的农耕操作中,秸秆等农业废弃物,多以焚烧还田方式处理。但随着国家的进步,整个社会环保意识逐渐增强,秸秆焚烧被禁止,农业废弃物资源化问题面临巨大的挑战。生物炭是生物质在缺氧和一定温度条件下热裂解干馏形成的富碳产物^[1],性质类似于大田秸秆焚烧后的产物,具有碳含量高、pH值高和孔隙度高等特点^[2],且因其制作过程经过了高温,去除了生物质本身携带的虫卵、病原菌、杂草种子等不利农业生产的因素,因此被认为在低碳农业途径中具有很大的应用前景^[3]。许多研究表明,生物炭用在农业土壤中,具有改良酸性土壤^[4],促进土壤保水保肥性能提升^[5],降低土壤重金属等污染物质有效性^[6]等作用。但是,这些作用的发挥与制作生物炭的原料,生物炭的制取方法以及土壤的性状等有关^[5],且存在较大的差异^[7]。本文以5种宁波当地较为常见的农业废弃物资源为原料制作生物炭,比较了5种

自制生物炭以及2种外购生物炭对土壤pH值和保水保氮性能的影响,以期生物炭在农业生产中的大面积推广应用提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 生物炭

供试生物炭共7种,分别为黄秋葵秸秆炭(HQK)、茭白秸秆炭(JB)、水稻秸秆炭(SD)、废弃食用菌基质炭(JZ)、无花果秸秆炭(WHG)、猪粪炭(SM)和稻壳炭(DK)。其中黄秋葵秸秆炭、茭白秸秆炭、水稻秸秆炭、废弃食用菌基质炭、无花果秸秆炭由本地农场提供原料,公司制备。制备过程为:秸秆田间采收后稍作风干,随即放入炭化炉,以 $20\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速率升至炭化温度,保温一定时间后,随炉冷却至室温,具体烧制参数见表1。猪粪炭来源于浙江大学实验室。稻壳炭采购自当地一家大米加工厂,以稻壳作为稻谷烘干燃料。所有供试生物炭均磨碎过2 mm筛,制备参数及基本理化性状见表1。

1.1.2 土壤

供试土壤采自宁波市起源农场,类型为青紫泥

收稿日期:2018-03-15;录用日期:2018-05-01

基金项目:宁波市农科教结合项目(编号:2014NK43)。

作者简介:吴愉萍(1981-),女,浙江遂昌人,高级农艺师,博士,研究方向为农业资源利用和农业产地环境保护。E-mail: a_angelfish@163.com。

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

表 1 供试生物炭的制备参数及基本理化性状

样品编号	原料	pH 值	制备参数	比表面积 (m ² · g ⁻¹)	C(%)	N(%)	NH ₄ ⁺ -N (mg · kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N (mg · kg ⁻¹)
HQK	黄秋葵秸秆	10.78	终温 450℃, 保温 95 min	2.88	55.30	1.14	—	31.3
JB	茭白秸秆	10.3	终温 450℃, 保温 95 min	1.45	58.45	3.67	6.8	12.9
SD	水稻秸秆	10.71	终温 450℃, 保温 90 min	7.63	47.06	0.64	—	39.0
JZ	废弃食用菌基质	9.91	终温 500℃, 保温 120 min	5.35	55.86	2.21	—	5.0
WHG	无花果秸秆	10.94	终温 450℃, 保温 95 min	1.72	65.96	1.92	9.8	10.4
SM	猪粪	9.59	终温 500℃, 保温 30 min	4.58	35.86	2.11	—	5.2
DK	稻壳	10.19	—	48.35	66.64	0.07	—	7.1

注: DK 为大米加工厂副产品, 无制备参数。

田, 采样时地面种植作物为蔬菜。样品采集后带回实验室风干、磨细, 过 2 mm 筛备用。经测定, 土壤 pH 值为 5.84, 有机质含量为 51.4 g · kg⁻¹, 水解性氮含量为 264 mg · kg⁻¹, NH₄⁺-N 含量为 31.4 mg · kg⁻¹, NO₃⁻-N 含量为 186.1 mg · kg⁻¹, 有效磷含量为 438 mg · kg⁻¹, 速效钾为 502 mg · kg⁻¹。

1.2 试验方法

试验均在室内完成, 设置 0.5%、1%、2% 和 5% 4 个不同生物炭添加水平, 制成不同生物炭添加量的土壤样品备用。7 种生物炭, 4 个不同生物炭添加水平, 1 个对照不添加生物炭处理, 共计 29 个处理。生物炭对土壤 pH 值的影响通过测定不同处理土壤样品 pH 值的变化确定。pH 值的测定参照马嘉伟等^[8]的方法, 具体而言, 称取 10 g 土壤样品, 按照水土比 1:2.5 加 25 mL 去离子水, 混匀, 待平衡 2 h 后测定 pH 值。生物炭对土壤保水性能的影响通过测定不同处理土壤样品持水量(WHC)的变化确定。土壤持水量的测定方法为: 称取 100 g 土壤样品于布氏漏斗中, 加去离子水至土样完全浸透, 并使水面高出土面 1 cm, 平衡 4 h, 排干水, 并抽真空 20 s, 完成水分饱和土壤样品的制备, 再通过称重法测定该样品含水量, 视为土壤持水量^[9]。生物炭对土壤保氮性能的影响以 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 作为研究对象, 通过测定不同处理土壤溶液中 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量变化确定, 具体而言, 称取 2.5 g 土壤样品于 100 mL 玻璃瓶

中, 加入 50 mL 含有 0.01 mol · L⁻¹ KCl 的溶液, 滴入 2 滴氯仿, 在室温下水平震荡 24 h, 然后用 Whatman No. 42 滤纸将溶液过滤, 并将溶液立即进行 NH₄⁺-N 或 NO₃⁻-N 的测定^[10], NH₄⁺-N 采用全自动 FOSS 定氮仪直接测定, NO₃⁻-N 采用麝香草酚分光光度法测定。按下式计算土壤溶液中 NH₄⁺-N 或 NO₃⁻-N 被吸附量的量:

$$Q = (C_0 - C) \times 100 / C$$

其中, Q 为被吸附的 NH₄⁺-N 或 NO₃⁻-N 量(%), C₀ 为对照不添加生物炭土壤溶液中 NH₄⁺-N 或 NO₃⁻-N 的浓度(mg · L⁻¹), C 为添加生物炭土壤溶液中 NH₄⁺-N 或 NO₃⁻-N 的浓度(mg · L⁻¹)。

1.3 数据分析

每个处理重复 3 次, 数据的表达均为平均值 ± se。采用 DPS v 7.05 进行方差分析, 用 Sigmaplot 10.0 作图。

2 结果与分析

2.1 对土壤 pH 值的影响

土壤酸化是我国农业生产中较为突出的问题, 寻找可持续的改良酸化土壤的方法迫在眉睫。由图 1 可知, 供试生物炭对于提高土壤 pH 值均有一定的作用, 黄秋葵秸秆炭、水稻秸秆炭、废弃食用菌基质炭和稻壳炭在 0.5% 的添加量时即极显著的提高了土壤 pH 值, 将土壤 pH 值从 5.84 提高到了 6.03 ~ 6.08。除无花果秸秆炭外, 其余几种生物炭

在 1% 的添加量时均极显著提高了土壤 pH 值, 其中水稻秸秆炭添加后土壤 pH 值增幅最大, 从 5.84 提高到了 6.83 (图 1)。在 2% 的添加量时, 所有供试生物炭均极显著的提高了土壤 pH 值, 增幅达到了 0.12 ~ 1.33 个单位 (图 1)。生物炭添加量在 5% 时, 土壤 pH 值从 5.84 提高到了 6.20 ~ 8.01, 茭白秸秆炭和水稻秸秆炭将酸性土壤转变成了碱性土壤 (图 1)。在实验室条件下, 添加生物炭提高了土壤 pH 值, 生物炭添加量为 2% 时, 所有处理 pH 值均显著提高, 茭白秸秆炭和水稻秸秆炭在提高酸化土壤 pH 值的作用上效果最为明显。

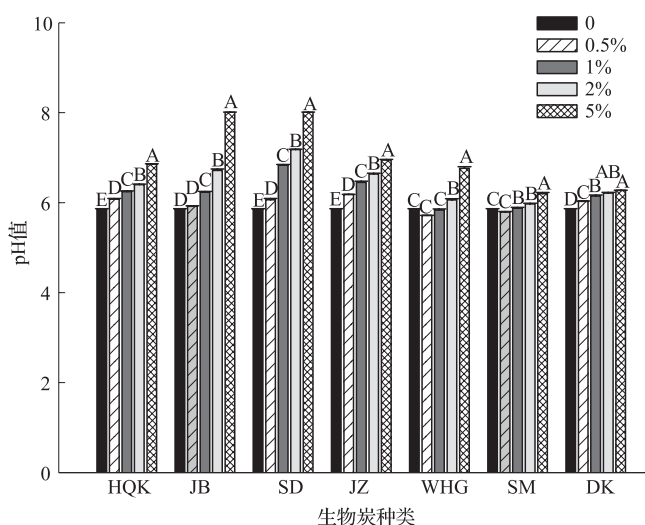


图 1 不同生物炭种类及添加量对土壤 pH 值的影响

注: 柱上字母表示 0.01 水平差异显著性。下同。

吴敏等^[11]研究了椰炭和蔗炭对酸性土壤的改良作用, 发现, 生物炭的添加量在 1.5% ~ 7.5% 时均显著提高了土壤 pH 值, 随着生物炭添加量的增加, 椰炭将土壤 pH 值从 4.8 提高到了 5.5 ~ 7.2, 蔗炭提高到了 5.0 ~ 5.7, 椰炭对土壤 pH 值的改良作用要好于蔗炭。王震宇等^[12]将在 300 和 400 °C 2 种温度下慢速热解花生壳炭以 2.5% 和 5% 的比例添加到了酸化果园土壤中, 经过 44 d 的培育后, 土壤 pH 值显著提高, 从 4.5 左右均增加到了 5.0 ~ 5.9, 且热解温度高的比低的增加多, 添加量大的比添加量小的增加多。本试验中生物炭提高土壤 pH 值的能力与生物炭的 pH 值、烧制终温或保温时间均无相关性。生物炭能够提高土壤 pH 值一方面与生物炭的碱性属性使其施入土壤后对土壤 pH 值产生直接影响有关^[13], 另一方面也与其含有 Ca^{2+} 、 K^{+} 、 Mg^{2+} , 与土壤 H^{+} 和 Al^{3+} 的交换有关^[14]。

2.2 对土壤保水性能的影响

由图 2 可知, 添加生物炭能够提高土壤的持水能力。水稻秸秆炭在添加量为 0.5% 时, 极显著 ($P < 0.01$) 的提高了土壤的持水量, 增幅为 2.72%, 其它几种生物炭在添加量为 0.5% 时效果不显著 (图 2)。当生物炭添加量达到 1% 时, 除茭白秸秆炭外, 其它几种生物炭均极显著提高了土壤持水量, 增幅分布在 3.00% ~ 6.83% 之间 (图 2)。生物炭添加量在 2% 时, 所有供试生物炭均极显著的提高了土壤持水量, 增幅分布在 2.87% ~ 12.30% 之间, 水稻秸秆炭和废弃食用菌基质秸秆炭的增幅最大, 达到了 12.30% (图 2)。当生物炭的添加量提高到 5% 时, 土壤持水量增幅达到了 8.49% ~ 21.38%, 其中添加猪粪炭土壤持水量增加幅度最小, 为 8.49%, 添加水稻秸秆炭土壤持水量增幅最大, 为 21.38% (图 2)。从实验室效果看, 几种供试生物炭中, 水稻秸秆炭提高土壤保水能力的作用最明显。

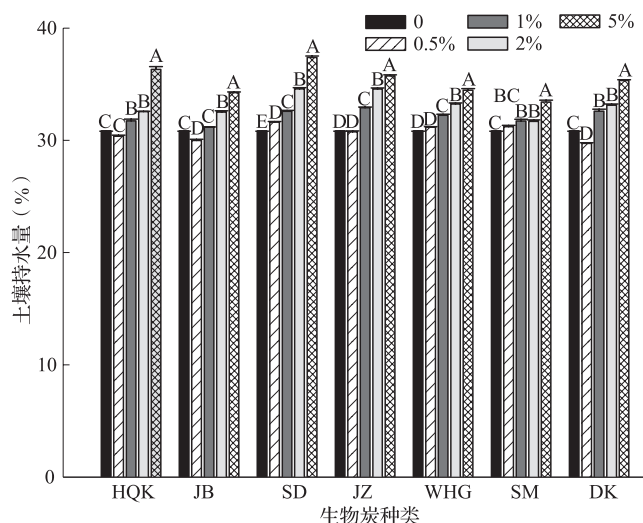


图 2 不同生物炭种类及添加量对土壤保水性能的影响

生物炭具有较高的孔隙度和比表面积, 会使土壤水分的渗滤模式、停留时间和流动路径发生改变^[15], 从而提高土壤的保水能力。李昌见等^[16]通过野外大田小区试验研究了生物炭对土壤持水能力的影响, 结果发现, 添加生物炭增加了土壤含水率, 0 ~ 10 cm 土层各生育期土壤含水率较对照组最大增幅分别为 20.8%、13.7% 和 21.8%, 施炭量为 $40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 土壤含水率增幅最明显。吴崇书等^[7]研究了生物炭对质地和有机质相差较大的 8 种土壤田间持水量的影响, 结果发

现, 添加 1% 生物炭时, 不同土壤间持水量增加了 2.26% ~ 18.47%, 添加 2% 生物炭时, 不同土壤间持水量增加了 6.84% ~ 37.37%, 生物炭提高土壤保水性能对于壤质沙性土壤效果更为明显。

2.3 对土壤保氮性能的影响

由图 3 可知, 相对于 NO_3^- -N 而言, 生物炭更有利于土壤溶液中 NH_4^+ -N 的吸附。除添加 1% 废弃食用菌基质炭外, 其他处理均促进了土壤溶液中 NH_4^+ -N 的吸附, 生物炭对土壤溶液中 NH_4^+ -N 的吸附量分布在 1.31% ~ 27.48% (图 3)。这与 Yao 等^[17]的研究结果一致。但是, 所有供试生物炭均未表现出随着土壤中生物炭的添加量增大, 吸附 NH_4^+ -N 量增加的现象 (图 3)。不同种类生物炭对

NH_4^+ -N 的吸附能力不同, 无花果秸秆炭对 NH_4^+ -N 的平均吸附量最大, 为 20.55%, 显著 ($P<0.05$) 高于废弃食用菌基质炭 (7.00%) 和黄秋葵秸秆炭 (6.98%) (图 4)。添加生物炭对土壤溶液中的 NO_3^- -N 则基本无吸附作用, 反而大多数处理促进了 NO_3^- -N 的释放, 土壤溶液中 NO_3^- -N 的吸附量分布在 -15.98% ~ 11.48% 之间 (图 3)。随着生物炭添加量的增加, 土壤溶液中 NO_3^- -N 的吸附量也并无规律性变化 (图 3)。将土壤溶液中 NO_3^- -N 吸附量按照不同生物炭种类做平均值显示, 茭白秸秆炭和稻壳炭促进了土壤溶液中 NO_3^- -N 的吸附, 平均吸附量分别为 2.09% 和 3.50%, 显著 ($P<0.05$) 高于废弃食用菌基质炭 (-11.96%) (图 4)。

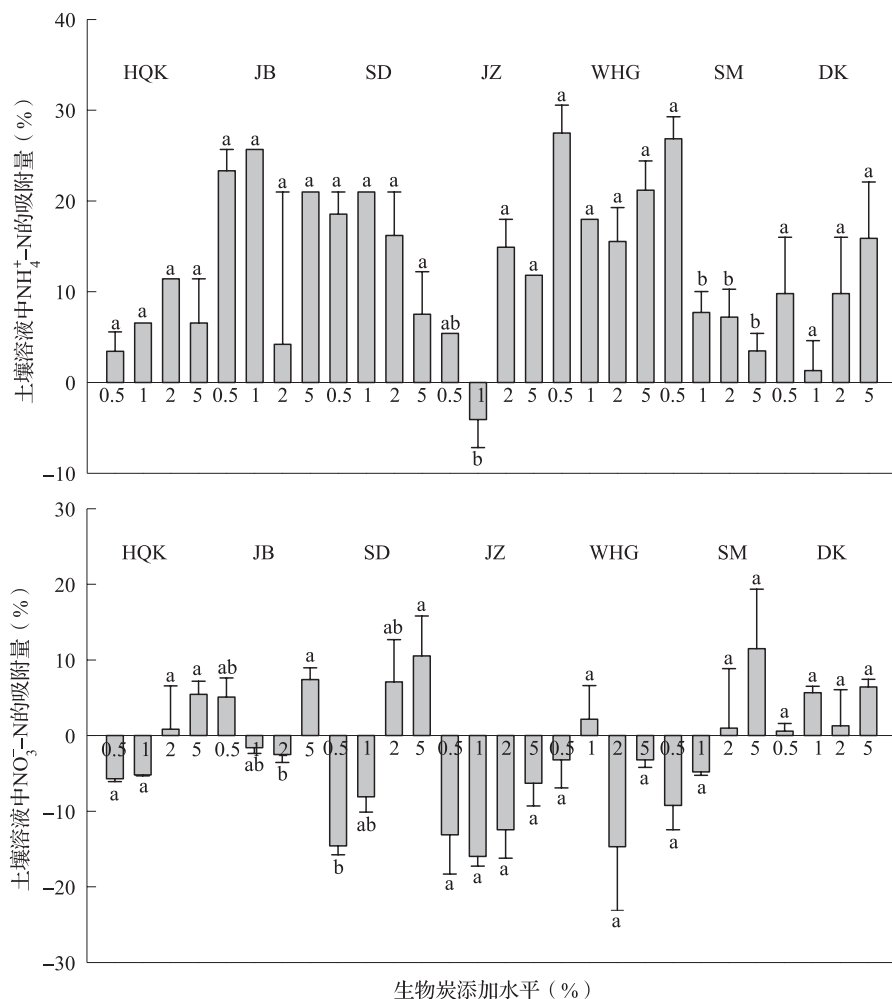


图 3 添加不同种类和数量生物炭对土壤溶液中 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 吸附量的影响

注: 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

生物炭对土壤中氮的固持效应取决于生物炭原料^[5]、制备条件^[5]、施用量^[13]及土壤质地^[13]等因素。许多研究发现生物炭的添加能够促进土壤中

NH_4^+ -N 的吸附^[18-19]。生物炭对土壤中 NH_4^+ -N 的吸附主要与其表面丰富的含氧官能团有关, 丰富的含氧官能团提高了生物炭离子吸附交换能力, 从而

增加了土壤对 NH_4^+ 的吸附量^[20]。Endita 等^[21] 研究了稻壳炭对水溶液中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的吸附,发现稻壳炭对硝态氮基本无吸附能力,对铵态氮则能吸附一定量,且随着溶液中铵态氮浓度的增加,吸附能力增强,当溶液中铵态氮的浓度达到 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,稻壳炭的吸附力达到了 $\text{N } 4.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。Yao 等^[17] 通过实验室方法研究了 13 种生物炭对水溶液中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的吸附,发现供试生物炭对 NO_3^--N 基本无吸附作用,但 9 种生物炭对水溶液中的 NH_4^+-N 存在一定的吸附作用,水溶液中 NH_4^+-N 的减少量分布在 $1.8\% \sim 15.7\%$ 之间,与本研究的结果基本一致。本试验中,生物炭整体上对土壤溶液中 NH_4^+-N 存在吸附作用,但吸附量并未随着生物炭的添加量增大而增大,分析原因可能与土壤溶液中 NH_4^+-N 浓度 ($1.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 较低,参与吸附作用的生物炭数量 ($0.01 \sim 0.13 \text{ g}$) 少有关。Endita 等^[21] 的研究也发现,当溶液中初始氮浓度在 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,稻壳炭吸附的氮量也非常低。

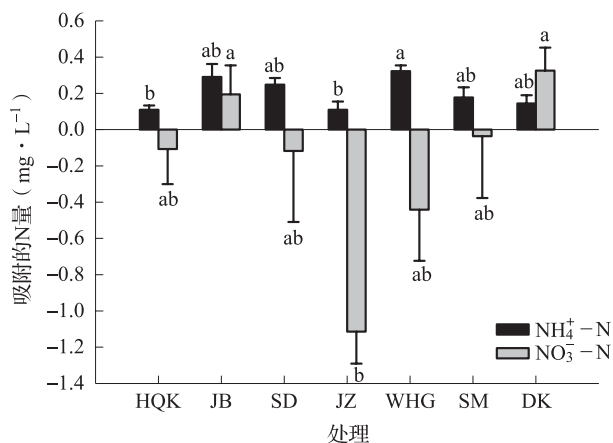


图4 不同种类生物炭对土壤溶液中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的平均吸附量

3 结论

3.1 生物炭具有改良酸化土壤的性能。随着生物炭添加量的增加,土壤 pH 值提高。不同原料生物炭改良酸化土壤的能力不同,茭白秸秆炭和水稻秸秆炭提高土壤 pH 值的作用最明显,猪粪炭和稻壳炭作用最弱。

3.2 生物炭具有保水的性能。保水能力的强弱与生物炭种类及添加量有关。当生物炭添加量 $\geq 2\%$ 时,所有供试生物炭均极显著地提高了土壤持水量。当生物炭的添加量提高到 5% 时,土壤持水量

增幅达到了 $8.49\% \sim 21.38\%$ 。水稻秸秆炭在提高土壤保水能力上的作用最明显。

3.3 生物炭能够吸附土壤溶液中 NH_4^+-N 。不同添加量生物炭对土壤溶液中 NH_4^+-N 的吸附量分布在 $1.31\% \sim 27.48\%$ 。但是,所有供试生物炭均未表现出随着土壤中生物炭的添加量增大,吸附 NH_4^+-N 的量增加的现象。无花果秸秆炭对土壤溶液中 NH_4^+-N 的吸附能力最强,废弃食用菌基质炭和黄秋葵秸秆炭吸附能力最弱。添加生物炭对土壤溶液中的 NO_3^--N 则基本无吸附作用。

参考文献:

- [1] 乔光,洪怡,田田,等.生物炭对玛瑙红樱桃土壤微生物和养分的影响[J].华中农业大学学报,2017,36(3):51-56.
- [2] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems: a review[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006, 11(2): 395-419.
- [3] 潘根兴,张阿凤,邹建文,等.农业废弃物生物黑炭转化还田作为低碳农业途径的探讨[J].生态与农村环境学报,2010,26(4):394-400.
- [4] 袁金华,徐仁扣.生物质炭对酸性土壤改良作用的研究进展[J].土壤,2012,44(4):541-547.
- [5] 褚军,薛建辉,金梅娟,等.生物炭对农业面源污染氮、磷流失的影响研究进展[J].生态与农村环境学报,2014,30(4):409-415.
- [6] 吴萍萍,李录久,王家嘉,等.秸秆生物炭对矿区污染土壤重金属形态转化的影响[J].生态与农村环境学报,2017,5:453-459.
- [7] 吴崇书,邱志腾,章明奎.施用生物质炭对不同类型土壤物理性状的影响[J].浙江农业科学,2014,10:1617-1619,1623.
- [8] 马嘉伟,胡杨勇,叶正钱,等.竹炭对红壤改良及青菜养分吸收、产量和品质的影响[J].浙江农林大学学报,2013,30(5):655-661.
- [9] Wu Y P, Xu J M, Wang H Z, et al. Changes in the soil microbial community structure with latitude in eastern China based on phospholipid fatty acid (PLFA) analysis[J]. Applied Soil Ecology, 2009, 43: 234-240.
- [10] Rajesh C, Javier M, Thomas E, et al. Nitrate sorption and desorption in biochars from fast pyrolysis[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2013, 179: 250-257.
- [11] 吴敏,韦家少,孙海东,等.植物物料及其生物炭对酸性土壤的改良[J].热带作物学报,2016,37(12):2276-2282.
- [12] 王震宇,徐振华,郑浩,等.花生壳生物炭对中国北方典型果园酸化土壤改性研究[J].中国海洋大学学报,2013,43(8):86-91.
- [13] 卜晓莉,薛建辉.生物炭对土壤生境及植物生长影响的研究进展[J].生态环境学报,2014,23(3):535-540.

- [14] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—reviews [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35: 219–230.
- [15] Major J, Steiner C, Downie A, et al. Biochar effects on nutrient leaching [C] //Lehmann J, Joseph S. *Biochar for environmental management science and technology*. London, Earthscan: 2009.271–287.
- [16] 李昌见, 屈忠义, 勾芒芒, 等. 生物炭对土壤水肥热效应的影响试验研究 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23 (7): 1141–1147.
- [17] Yao Y, Gao B, Zhang M, et al. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil [J]. *Chemosphere*, 2012, 89: 1467–1471.
- [18] Lehmann J, Silva J P, Steiner C, et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments [J]. *Plant and Soil*, 2003, 249: 343–357.
- [19] Yuan J H, Xu R K. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol [J]. *Soil Use and Management*, 2011, 27: 110–115.
- [20] 王萌萌, 周启星. 生物炭的土壤环境效应及其机制研究 [J]. *环境化学*, 2013, 32 (5): 768–780.
- [21] Endita P A P, Aurelia K H, Tetsuro F, et al. The effects of rice husk char on ammonium, nitrate and phosphate retention and leaching in loamy soil [J]. *Geoderma*, 2016, 277: 61–68.

The effects of different agricultural waste biochars and application rates on soil pH, water holding capacity and N adsorption

WU Yu-ping¹, WANG Ming-hu², XI Jie-jun², PAN Jie², CHEN Ling-yu², LIAN Ying¹, SUN Hui¹, ZHOU Ping³
(1. Ningbo Agricultural Produces Safety Management Station, Ningbo Zhejiang 315012; 2. Ningbo General Plant Management Station, Ningbo Zhejiang 315012; 3. Zhejiang Tanji Technology Co. Ltd., Hangzhou Zhejiang 310100)

Abstract : Seven agricultural waste biochars made from okra straw (HQK), wild rice stem straw (JB), rice straw (SD), waste edible fungus matrix (JZ), fig stem (WHG), swine manure (SM) and rice husk (DK) were used to detect the effects of different kinds and application rates (0.5%, 1%, 2% and 5%) of biochars on soil pH, water holding capacity and N adsorption. The results showed that at the application rates of 2%, all the biochars significantly increased soil pH, in which JB and SD increased most, and significantly increased soil water holding capacity with the increasing rates of 2.87% ~ 12.30%, in which SD increased most. Biochar could adsorb $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in soil solution, but the adsorption ability was not related to the application rates of biochar. WHG showed the strongest adsorption ability. The adsorption ability of JZ and HQK was the weakest. Adding biochars showed no effects on adsorption of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in soil solution.

Key words : biochar; soil; pH; water holding capacity; $\text{NH}_4^+\text{-N}$; $\text{NO}_3^-\text{-N}$